

## ДИНАМИКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ЭРОЗИОННОГО ЛАЗЕРНОГО ФАКЕЛА УГЛЕРОДА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

В. К. Гончаров<sup>1</sup>, М. В. Пузырев<sup>1</sup>, Г. А. Гусаков<sup>1</sup>, В. Ю. Ступакевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко БГУ,  
Минск

<sup>2</sup>Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Гродно  
E-mail: [puzyrev@bsu.by](mailto:puzyrev@bsu.by)

Известна существенная роль энергетического спектра ионов при осаждении тонких пленок физическими методами, в частности при лазерно-плазменном осаждении.

В настоящей работе исследовался эрозионный лазерный факел мишени из высокоориентированного графита марки УПВ-1. На мишень воздействовали 20 нс импульсами неодимового лазера. Исследования проводились с целью оптимизации процессов нанесения углеродных нанопленок на различные подложки. Так как в наших экспериментах осаждение пленок связано с потоком тяжелых частиц, а электроны могут вызывать дополнительные (не всегда желательные) явления вторичной эмиссии, рекомбинации необходимо избавиться от электронов.

Предварительные эксперименты показали, что при расположении сетки с потенциалом +6 В на расстоянии 6 см от поверхности лазерной мишени после сетки формируется в основном поток ионов. Все электроны уводятся на заземляющую шину.

Отсепарированными первой сеткой ионами можно управлять с помощью потенциала на второй сетке. В нашем случае вторая сетка расположена между первой сеткой и подложкой. Расстояние от первой сетки 3 см. Такое же расстояние от подложки до второй сетки.

При подаче на вторую сетку отрицательного потенциала по отношению к первой сетке можно управлять скоростью ионов. Такие эксперименты были проведены при подаче различных потенциалов на вторую сетку. При этом на 1 сетке во всех экспериментах подавался потенциал 6 В, а сигнал снимался с нагрузочного сопротивления (см. рис. 1).

После первой сетки в основном летят ионы. При плотности мощности воздействующего лазерного излучения  $5,6 \times 10^8$  Вт/см<sup>-2</sup> в эрозионной лазерной плазме присутствуют ионы различной кратности ионизации  $C^+$ ,  $C^{++}$ ,  $C^{+++}$ . При подаче потенциала между первой и второй сеткой происходит их расслоение с увеличением на переднем фронте  $C^{+++}$ .

Следует заметить, что в пространстве между первой сеткой и подложкой практически отсутствуют электроны, которые были осаждены первой сеткой на заземляющую шину. Вследствие этого невозможна рекомбинация ионов. Однако при напряжениях на второй (ускоряющей) сетке 20 В в экспериментах замечено уменьшение ионов второй кратности и увеличение ионов первой кратности. Можно

предположить, что ионы второй кратности начинают частично рекомбинировать и переходить в ионы первой кратности. При дальнейшем увеличении потенциала на второй сетке (35 В) происходит уменьшение ионов третьей кратности ионизации и увеличение ионов второй кратности ионизации, которых в свою очередь становится меньше по сравнению с ионами первой кратности ионизации.

Это может быть связано с тем, что ионы третьей кратности ионизации, имеющие наибольшую скорость, начинают формировать из материала подложки эрозионную плазму, электроны которой могут участвовать в рекомбинации подлетающих ионов второй и первой кратности ионизации. При больших скоростях ионов третьей кратности ионизации плазма, которая формируется у подложки, успевает изменять

количество и этих ионов. На рис. 2 представлено изменение тока за счет ионов различной кратности, что подтверждает наше предположение.

Таким образом, управляя скоростью ионов, можно не только регулировать режимы осаждения пленок (в том числе металлических), но и управлять режимами предварительной обработки поверхности подложки (травление, создание псевдодиффузных слоев) для получения высокой адгезии.

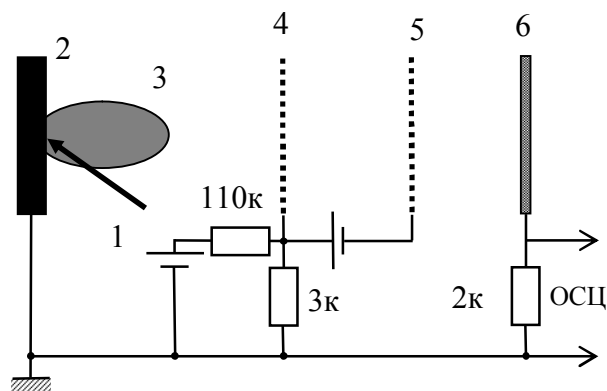


Рис. 1. Схема эксперимента:

1- лазерное излучение; 2 – графитовая мишень;  
3 – эрозионный факел; 4 – первая сетка;  
5 – вторая сетка; 6 – подложка

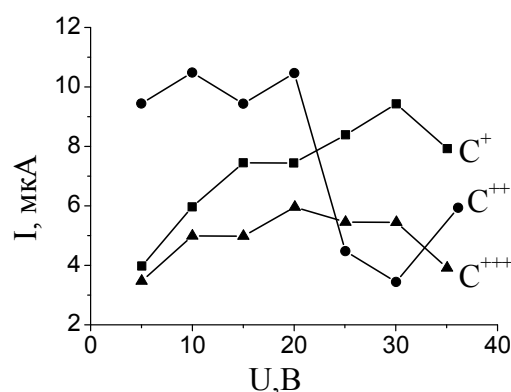


Рис. 2. Зависимость тока на зонде от ускоряющего потенциала между первой и второй сеткой для ионов разной кратности ионизации